

**STUDI SIFAT FISIS DAN MEKANIS BAJA KARBONASI
PADAT DENGAN ARANG KAYU MAHONI
BERUKURAN 200 *MESH* DAN HASIL *SHAKER MILL***



**Disusun Sebagai Syarat Untuk Menyelesaikan Program Studi Strata I Pada
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

**Disusun Oleh :
YOGA HARIS ADIANSYAH
NIM : D200140089**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

**STUDI SIFAT FISIS DAN MEKANIS BAJA KARBONASI PADAT
DENGAN ARANG KAYU MAHONI**

BERUKURAN 200 MESH DAN HASIL *SHAKER MILL*

PUBLIKASI ILMIAH

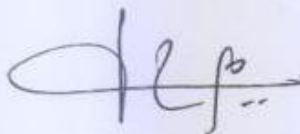
Oleh :

YOGA HARIS ADIANSYAH

NIM : D200140089

Telah diperiksa dan disetujui oleh

Dosen Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'H. Supriyono', written over a horizontal line.

(Ir. H. Supriyono, M.T., Ph.D)

HALAMAN PERSETUJUAN

**STUDI SIFAT FISIS DAN MEKANIS BAJA KARBONASI PADAT
DENGAN ARANG KAYU MAHONI
BERUKURAN 200 MESH DAN HASIL SHAKER MILL**

Oleh :

YOGA HARIS ADIANSYAH

NIM : D200140089

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari jum'at, 8 november 2019

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. Dr. H. Supriyono
(Ketua Dewan Penguji)
2. Dr. Ngafwan
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Wijianto, ST., M.Eng.Sc
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

(.....)

(.....)

Dekan Fakultas Teknik



(Ir. Sri Sutajiyo MT., Ph.D)

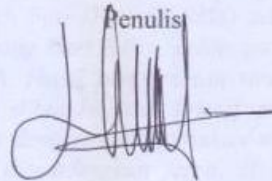
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain. Kecuali serta tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidak benaran dalam pernyataan saya diatas maka saya pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 18 November 2019

Penulis



YOGA HARIS ADIANSYAH

NIM : D200140089

**STUDI SIFAT FISIS DAN MEKANIS BAJA KARBONASI PADAT
DENGAN ARANG KAYU MAHONI
BERUKURAN 200 MESH DAN HASIL SHAKER MILL**

Abstrak

Pack carburizing merupakan metode karburisasi yang paling sederhana, yaitu menggunakan serbuk arang sebagai penambahan unsur Karbon. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan sifat-sifat dari baja, baik sifat fisis maupun sifat mekanis setelah mengalami proses pack carburizing dengan bahan karbon arang kayu mahoni. Pemilihan bahan dilakukan dengan cara menguji baja lunak (mild steel) $<0,3\%$ C, sebagai raw material dengan alat Optical Emission Spectrometer. Specimen bersama campuran arang kayu mahoni dan BaCO_3 dimasukkan dalam gerabah, kemudian dipanaskan dalam dapur pemanas (furnace) pada temperatur 900°C dengan waktu penahan selama 2 jam. Specimen hasil pack carburizing diuji kekerasannya dengan metode micro Vickers menggunakan alat Micro Hardness Tester, sebanyak 6 titik. Untuk pengamatan struktur mikro digunakan alat Inverted Metallurgical Microscope. Hasil pengujian komposisi kimia unsur yang paling banyak setelah besi ($\text{Fe} = 98,83\%$) adalah mangan ($\text{Mn} = 0,264\%$), unsur mangan (Mn) kurang dari $8,0\%$, sehingga raw material ini termasuk dalam baja paduan rendah. Hasil pengamatan struktur mikro raw material lebih banyak kristal ferrit dibandingkan kristal perlit. Sedangkan struktur mikro pack carburizing 2 jam dengan menggunakan media arang kayu mahoni lebih banyak kristal perlit dibandingkan ferrit. Hal ini menunjukkan bahwa benda kerja baja mengalami peningkatan nilai kekerasan setelah mengalami proses carburizing. Hasil pengujian kekerasan dengan media arang kayu mahoni dengan waktu penahanan 2 jam nilai kekerasan yang paling tinggi sebesar 210 VHN. Sedangkan pada raw material nilai kekerasannya sebesar 164 VHN.

Kata kunci : baja karbon rendah, carburizing, arang kayu mahoni

Abstract

Pack carburizing carburizing is the simplest method, which uses charcoal powder as the addition of the element carbon. The purpose of this study was to determine changes in the properties of steel, good physical properties and mechanical properties after a pack carburizing process with a carbon material teak wood charcoal. Material selection is done by testing the soft steel (mild steel) $<0.3\%$ C, as a raw material by means of Optical Emission Spectrometer. Specimen together with a mixture of charcoal mahogany and BaCO_3 inclusion in pottery, kitchen and heated in a heater (furnace) at a temperature of 900°C with a brace for 2 hours. Specimen results carburizing pack tested micro Vickers hardness method using a Micro Hardness Tester, a total of 9 points. To use the tool microstructure observation Inverted Metallurgical Microscope. Results of testing the chemical composition of the most widely element after iron ($\text{Fe} = 98.83\%$) is manganese

(Mn = 0.264%), manganese (Mn) is less than 8.0%, so that the raw material is included in the low alloy steel. The observation of micro structure more raw material than crystal crystal ferrite pearlite. While microstructure pack carburizing 2 hours using mahogany wood charcoal media more than ferrite pearlite crystals. This shows that the steel workpiece to increase the hardness after a carburizing process. Results of hardness testing with teak wood charcoal media with a 2 hour hold time the highest hardness value of 210 VHN. While the raw material of its hardness value of 164 VHN.

Keywords : low carbon steel, carburizing, mahogany wood charcoal

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam mempunyai peranan penting dalam kehidupan manusia, hampir semua kebutuhan manusia tidak lepas dari unsur logam. Kerena alat-alat yang digunakan manusia terbuat dari unsur logam, misalnya baja. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dibidang teknik, baik dalam bentuk plat, lembaran, batang, profil, dan sebagainya. Selain itu baja dengan unsur utama Fe dan C bisa dipadukan dengan unsur lain seperti Cr, Ni, Ti dan sebagainya, untuk mendapatkan sifat mekanik seperti yang diinginkan. Karbon merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Ada tiga kelompok baja bila ditinjau dari jumlah kandungan karbon yang terdapat dalam strukturnya, yaitu:

a. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah (low carbon steel) mengandung karbon dalam campuran baja kurang dari 0,3%C.

b. Baja karbon sedang

Baja karbon sedang (medium carbon steel) mengandung karbon 0,3%C - 0,6%C.

c. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon 0,6%C - 1,5%C dan memiliki kekerasan yang lebih tinggi, namun keuletannya lebih rendah.

Sedangkan untuk baja paduan terdiri dari:

a. Baja Paduan Rendah (Low Alloy Steel)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt.

b. Baja Paduan Menengah (Medium Alloy Steel)

Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5% - 10% wt.

c. Baja Paduan Tinggi (High Alloy Steel)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% wt.

Kandungan karbon didalam struktur baja akan berpengaruh terhadap sifat mampu keras. Sifat ini dibutuhkan untuk komponen mesin yang saling bergesekan atau karena fungsinya harus mempunyai kekerasan tertentu. Selanjutnya kekerasan pada komponen mesin yang terbuat dari baja, dapat diperoleh melalui proses perlakuan panas atau perlakuan permukaan. Proses peningkatan kekerasan menggunakan panas merupakan cara yang banyak dilakukan untuk baja karbon medium dan tinggi. Namun demikian tidak semua jenis baja bisa dikeraskan secara langsung dengan cara ini. Pengerasan langsung hanya dapat dilakukan pada baja dengan kandungan karbon di atas 0,35 %. Sementara untuk baja dengan kandungan karbon dibawah 0,35 %, harus melalui proses penambahan karbon.

Pack carburizing adalah salah satu metode yang digunakan untuk menambah kandungan karbon pada permukaan baja dengan menggunakan media padat. Bahan dimasukan dalam kotak tertutup dan ruangan diisi dengan tempur arang. Prosesnya memakan waktu cukup lama dan banyak diterapkan untuk memperoleh lapisan yang tebal (Amstead : 1995). Salah satu media pengkarbonan yang berbentuk padat adalah arang.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Mengetahui komposisi *raw material* sebelum proses *carburizing*.

- b. Mengetahui perubahan sifat baik fisik maupun mekanis setelah mengalami proses *carburizing* arang kayu mahoni dengan ukuran 200 mesh dan hasil *shaker mill* dengan waktu penahanan 2 jam.

1.3 Manfaat

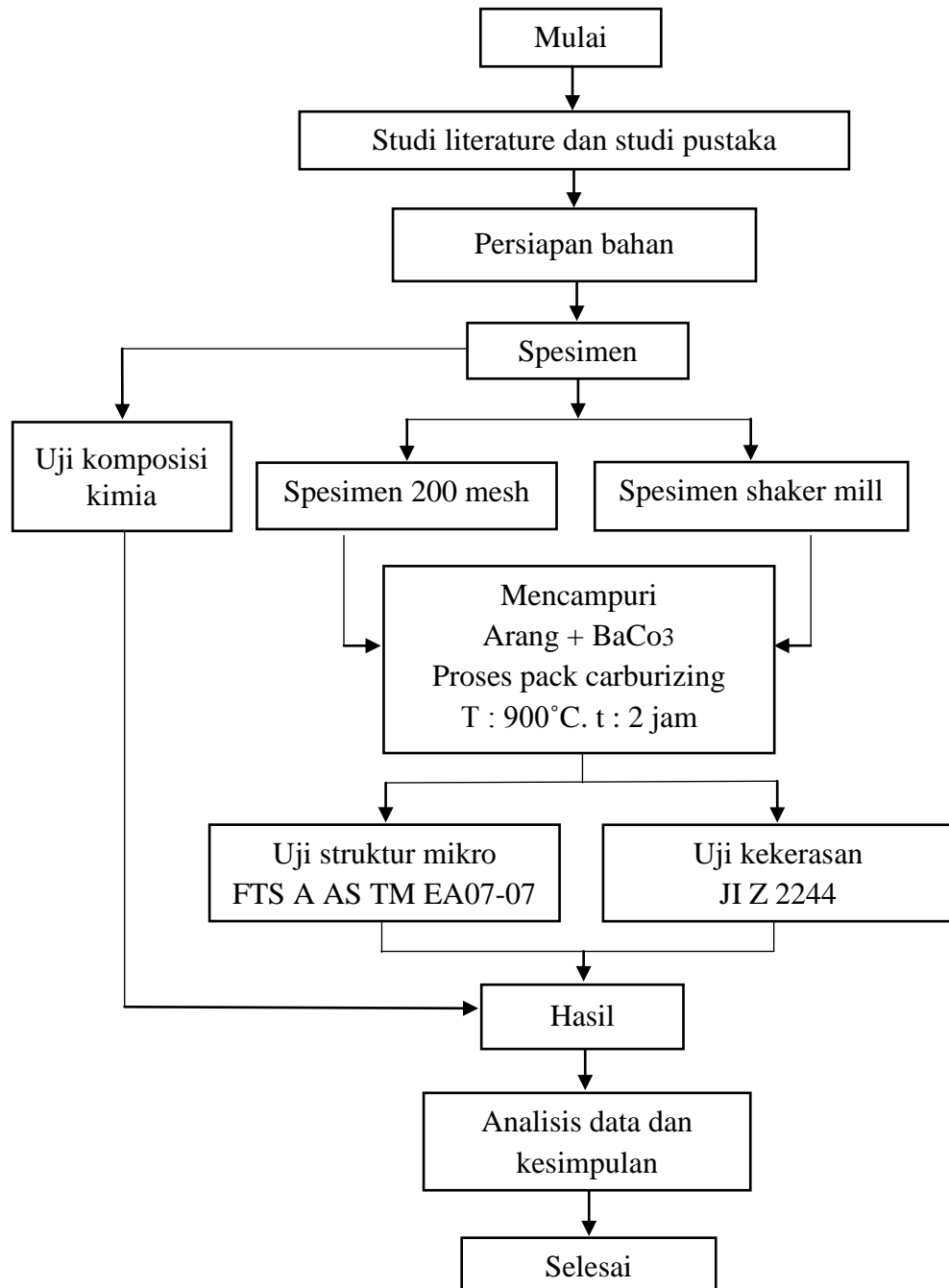
Manfaat yang dapat diambil dari penelitian sifat fisis dan mekanis baja karbonisasi dengan bahan arang kayu mahoni ini dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

- a. Bidang Akademik
 - 1) Mengetahui kualitas dari baja karbon rendah setelah dilakukan proses *pack carburizing*.
 - 2) Menambah wawasan tentang ilmu metalurgi sehingga menumbuhkan semangat untuk melakukan pengembangan khususnya rekayasa bahan.
- b. Bidang Pengembangan Industri.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dan dapat dijadikan acuan dalam pembuatan komponen-komponen mesin dengan bahan dasar baja yang mempunyai sifat keras pada permukaannya tetapi didalamnya bersifat ulet.

2. METODE

2.1 Rancangan Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Gerabah
- b. Dapur Pemanas (*Furnace*)
- c. Amplas
- d. Gergaji Mesin
- e. Penjepit
- f. Timbangan Digital
- g. Kaca Arloji
- h. Gerinda
- i. Mesh
- j. Alat Uji *Shaker mill*

2.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Material Dasar (*Raw material*)
- b. Arang Kayu
- c. Barium Karbonat (BaCO_3)
- d. Semen Tahan Panas
- e. Autosol

2.3 Instalasi Pengujian

Mesin-mesin uji material digunakan untuk menguji sebelum dan sesudah dilakukan proses *carburizing*. *Optical Emission Spectrometer* digunakan untuk menguji komposisi kimia dari material dasar. Begitu pula kekerasan dari *specimen*, sebelum dan sesudah dilakukan *carburizing* pengujian. Kedalam atom karbon yang masuk berdifusi kedalam struktur baja akan diketahui melalui pengambilan mikro dari *specimen*.

2.3.1 Uji Komposisi Kimia

Alat pengujian *Optical Emission Spectrometer*, Pengujian dengan menembakkan gas argon terhadap permukaan *specimen*. Penembakan dilakukan sebanyak 6 kali (6 titik), sehingga akan didapat harga rata-rata kandungan komposisinya.



Gambar 2. Alat Pengujian Kimia

2.3.2 Uji Struktur Mikro

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap perubahan struktur material setelah melalui proses *heat treatment*.



Gambar 3. Alat Uji Metalografi
(Lab. Teknik Mein UGM Yogyakarta 2019)

2.3.3 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui harga kekerasan material setelah melewati proses *heat treatment* sehingga didapatkan seberapa besar harga kekuatan yang dimiliki material apabila diberi beban.



Gambar 4. Uji Kekerasan *Vickers*
(Lab. Teknik Mein UGM Yogyakarta 2019)

2.4 Lokasi Pengujian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Surakarta dan pengujian dilaksanakan di 2 tempat yang berbeda yaitu:

- a. Laboratorium Politeknik Manufaktur Ceper, Klaten sebagai tempat uji komposisi kimia.
- b. Laboratorium Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta sebagai tempat penelitian dan uji struktur mikro serta uji kekerasan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Komposisi Kimia

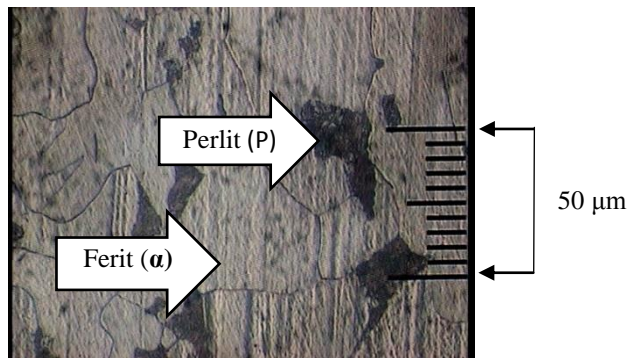
Tabel 1. Uji Komposisi *Spesimen* Dasar

Unsur	Contoh Uji (%)	Unsur	Contoh Uji (%)
Fe	98,8	Co	0,0119
C	0,162	Cu	<0,0030
Si	0,0290	Nb	<0,0030
Mn	0,802	Ti	<0,0020
P	<0,0050	V	<0,0030
S	0,161	W	<0,0250
Cr	<0,0050	Pb	<0,0100
Mo	0,0050	Ca	>0,0015
Ni	<0,0050	Zr	<0,0030
Al	<0,0020		

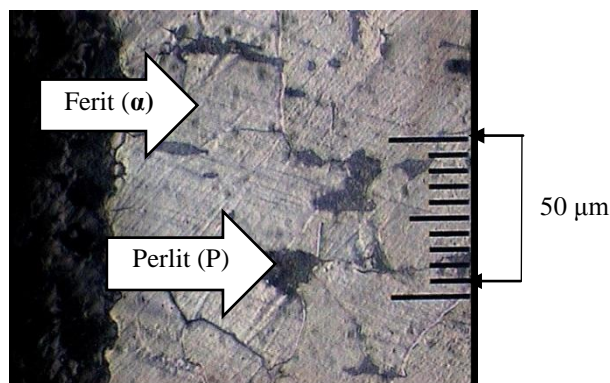
Dari hasil pengujian komposisi kimia *raw material* termasuk golongan baja karbon rendah ($< 0,30\%$), dengan penyusun utama Besi (Fe) sebesar 98,8% berpengaruh pada kekuatan dan kekerasan. Karbon (C) sebesar 0,162% menambah kekereasan baja.

3.2 Pengujian Struktur Mikro

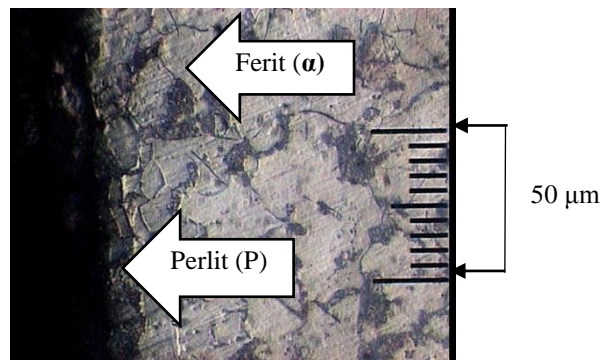
Dari pengujian struktur mikro dengan menggunakan *Olympus Metallurgical Microscopes* diperoleh gambar struktur mikro *raw material*, proses *carburizing* menggunakan arang kayu mahoni 200 *mesh* dan hasil *Shaker Mill*. Terlihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 5. Struktur Mikro Material Dasar Baja Karbon Rendah



Gambar 6. Struktur Mikro Material Dasar Baja Karbon Rendah Setelah Mengalami Proses *Carburizing* dengan Waktu 2 Jam dengan Penambahan Arang Kayu Mahoni Ukuran 200 Mesh



Gambar 7. Struktur Mikro Material Dasar Baja Karbon Rendah Setelah Mengalami Proses *Carburizing* dengan Waktu 2 Jam dengan Penambahan Arang Kayu Mahoni Hasil *Shaker Mill*

Terlihat pada pengujian struktur mikro pada *raw material* lebih banyak ferit dibandingkan perlit. Ferit yang mempunyai sifat lunak lebih banyak mendominasi struktur baja. Sementara perlit berada diantaranya dengan jumlah yang lebih sedikit. Perlit yang mempunyai sifat lebih keras

dibandingkan ferit menempati posisi yang tidak teratur. Hal ini menyebabkan pengukuran kekerasan bila mengenai ferit akan ditemukan harga yang lebih rendah.

Pada *specimen pack carburizing* dengan waktu tahan 2 jam membandingkan ukuran arang 200 *mesh* dengan arang hasil *shaker mill*, didapatkan hasil yang berbeda. Pada ukuran arang 200 *mesh* terdapat ferit lebih banyak dibandingkan dengan perlit, sedangkan dari hasil *shaker mill* memiliki perlit lebih banyak daripada ferit. Hal tersebut terjadi karena ukuran partikel yang semakin kecil akan semakin mudah untuk proses *carburizing* baja tersebut.

3.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Kekerasan permukaan material diuji dengan menggunakan metode *Vickers*. Pada uji *micro vickers* menggunakan 6 titik sampel, beban (P) sebesar 200 gf, jarak 150 μm dan waktu penahanan 5 detik. Hasil kekerasan pada *raw material*, *pack carburizing* menggunakan arang 200 *mesh* dan *pack carburizing* menggunakan arang hasil *shaker mill* dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. Harga Kekerasan Specimen *Raw Material*

No	Jarak dari Tepi (mm)	D1 (μm)	D2 (μm)	Drata-rata (μm)	Kekerasan (VHN)
1	0,1	47	48	47,5	164
2	0,2	48	46	47	168
3	0,4	48	48	48	161
4	1,0	50	52	51	143
5	2,0	51	52	51,5	140
6	3,0	50	51	50,5	145

Tabel 3. Harga Kekerasan Specimen *Pack Carburizing* Menggunakan Arang Kayu Mahoni Berukuran 200 *Mesh*

No	Jarak dari Tepi (mm)	D1 (μm)	D2 (μm)	Drata-rata (μm)	Kekerasan (VHN)
1	0.1	45	45	45	183
2	0.2	46	46	46	175
3	0.4	46	46	46	175
4	1.0	56	56	56	118

No	Jarak dari Tepi (mm)	D1 (μm)	D2 (μm)	Drata-rata (μm)	Kekerasan (VHN)
5	2.0	56	56	56	118
6	3.0	56	56	56	118

Tabel 4. Harga Kekerasan Specimen *Pack Carburizing* Menggunakan Arang Kayu Mahoni Berukuran Nano Hasil *Shaker Mill*

No	Jarak dari Tepi (mm)	D1 (μm)	D2 (μm)	Drata-rata (μm)	Kekerasan (VHN)
1	0.1	42	42	42	210
2	0.2	43	43	43	201
3	0.4	46	46	46	175
4	1.0	56	56	56	118
5	2.0	56	56	56	118
6	3.0	57	57	57	114

Pembahasan Pengujian Kekerasan

a. *Raw material*

Hasil pengukuran pada table 4.2 menunjukkan harga kekerasan *raw material*, terlihat adanya kenaikan dan penurunan pada setiap titik pengukuran. Hal ini terjadi karena beberapa factor penyebab yang mungkin terjadi, diantaranya ada pada saat pengujian titik-titik yang diambil tidak seluruhnya pada permukaan ferit. Misalnya pada titik ke-1, kemungkinan titik tersebut berada pada campuran ferit dan perlit. Sedangkan pada titik ke-2 berada pada perlit dan titik ke-3 pada ferit. Sehingga pada titik ke-1 kekerasannya sedang, pada titik ke-2 kekerasannya tinggi dan pada titik ke-3 kekerasannya rendah.

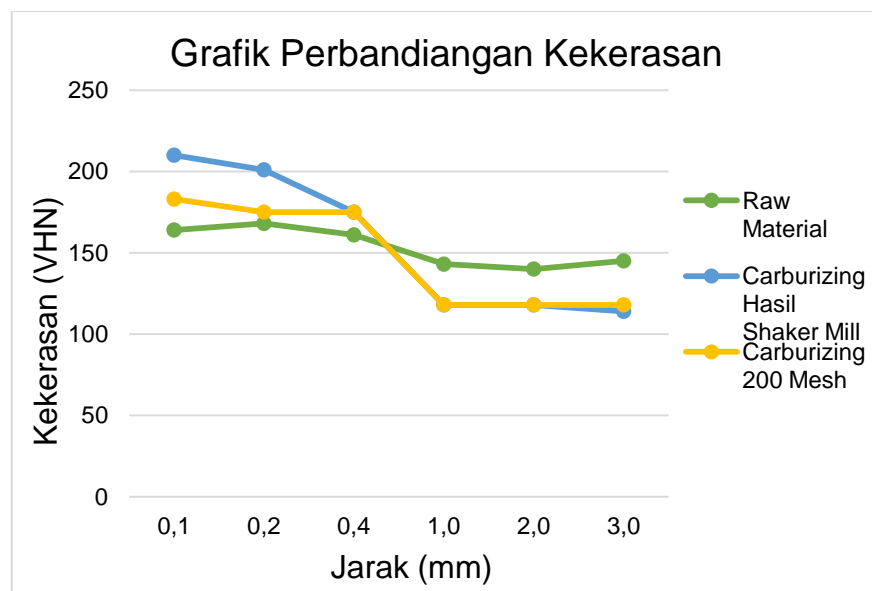
b. *Carburizing* arang ukuran 200 mesh

Specimen ini mengalami *pack carburizing* dengan arang berukuran 200 mesh dengan pendinginan dengan udara. Hasil pengujian material ini dapat dilihat tabel 4.3 kekerasan yang tinggi terjadi pada titik pertama sebesar (183 VHN) kemudian adanya penurunan dititik ke-4 sampai titik ke-6 sebesar (118 VHN). Hal ini dikarenakan atom karbon yang masuk kedalam struktur baja hanya beberapa micron saja

(tepi material) sehingga semakin kedalam material harga kekerasan semakin menurun.

c. *Carburizing* arang dari hasil *shaker mill*

Hasil pengujian pada tabel 4.4 menunjukkan harga kekerasan dengan arang hasil *shaker mill*, dari table tersebut dapat dilihat titik pertama dengan kekerasan tinggi yaitu sebesar (210 VHN) dan dapat dilihat adanya penurunan pada titik ketiga sebesar (175 VHN), dan menurun kembali pada titik ke-4 sampai titik ke-6 sebesar (118 VHN).



Gambar 8. Grafik Perbandingan Hasil Kekerasan

Dalam table tersebut terlihat perbedaan harga kekerasan pada setiap titiknya. Harga kekerasan paling tinggi terjadi pada titik ke-1 pada arang hasil *shaker mill* sebesar 210 VHN, sedangkan pada titik ke-2 pada arang hasil *shaker mill* dengan kekerasan sebesar 201 VHN. Dengan demikian ukuran partikel pada proses *pack carburizing* mempengaruhi kekerasan material.

Dari table diatas dapat dijadikan bentuk grafik pada gambar 4.4, hal ini dapat dilihat bahwa adanya perbedaan dari hasil *pack carburizing* dengan penambahan arang berukuran 200 mesh dan dari *shaker mill* dengan *raw material*. Perbedaan ini dipengaruhi oleh masuknya karbon kedalam baja. Peristiwa tersebut terjadi saat proses *pack carburizing*

berlangsung sampai pada waktu yang dihentikan. Dalam kondisi ini akan lebih banyak karbon pada bagian tepi dari pada bagian dalam baja.

Specimen pack carburizing pada penambahan arang ukuran 200 mesh dan dari hasil *shaker mill* terjadi penurunan secara signifikan pada titik ke-4, penurunan kekerasan ini bisa terjadi pada saat proses pemotongan material setelah proses *pack carburizing*.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- a. *Raw material* memiliki hasil pengujian komposisi kimia yang menunjukkan bahwa spesimen termasuk pada golongan baja karbon rendah ($<0,30\%C$) dengan kadar Karbon (C) sebesar **0,162%**. Harga kekerasan sebesar **164 VHN**.
- b. Sifat fisis dan mekanis dari baja setelah mengalami *carburizing* dengan ukuran arang 200 mesh memiliki kristal perlit yang hampir seimbang dengan kristal ferrit serta memiliki harga kekerasan tertinggi pada titik pertama sebesar **183 VHN**. Dan dengan ukuran arang hasil *shaker mill* memiliki kristal perlit yang dominan serta memiliki harga kekerasan tertinggi pada titik pertama sebesar **210 VHN**.

4.2 Saran

Setelah melakukan penelitian penulis memberikan saran yang bisa dijadikan pertimbangan, yaitu :

- a. Dalam pemilihan bahan agar lebih diperhatikan dengan kondisi di pasaran sehingga bahan pengujian mudah untuk didapat.
- b. Pada gerabah dilakukan visualisasi untuk memastikan tidak ada retakan yang akan membuat specimen *pack carburizing* menjadi dekarburasi atau proses oksidasi yang berlebihan dengan udara luar.
- c. Dalam melakukan persiapan untuk pengujian struktur mikro dan kekerasan sebaiknya benda uji benar-benar diperhatikan kerataanya dan kehalusannya agar tidak menjadi penghambat dalam melakukan pengujiannya.

- d. Diharapkan untuk keperluan mahasiswa Teknik Mesin UMS, Laboratorium Teknik lebih dilengkapi fasilitasnya guna kemajuan pengetahuan mahasiswa dari segi praktikum.

PERSANTUNAN

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penyusunan laporan penelitian ini dapat terselesaikan. Tugas Akhir berjudul “Studi Sifat Fisis Dan Mekanis Baja Karbonasi Padat Dengan Arang Kayu Mahoni Berukuran 200 *Mesh* Dan Hasil *Shaker Mill*”, dapat terselesaikan atas dukungan dari beberapa pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, penulis dengan segala ketulusan dan keikhlasan hati ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

- a. Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D., Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- b. Ir. H. Subroto, MT., Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- c. Ir. H. Supriyono, M.T., Ph.D., selaku pembimbing akademik dan tugas akhir yang banyak memberikan ilmu, waktu, dan dorongan serta arahan dalam proses bimbingan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
- d. Teman-teman mahasiswa teknik mesin angkatan 2014.
- e. Semua pihak yang telah membantu semoga Allah SWT membalas kebaikan kita semua.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B.H., Ostwald, P.F., dan Begeman, M.L., 1995, *Teknologi Mekanik*, Jilid 1, Edisi Ketujuh, *terj.* Djaprie S., Erlangga, Jakarta.
- Bahtiar dkk. (2017). Analisis Kekerasan dan Struktur Mikro pada Baja Komersial yang Mendapatkan Proses Pack Carburizing dengan Arang Cangkang Kelapa Sawit.
- Fitri dkk. (2013). Komposisi kimia, Struktur Mikro, Holding Time dan Sifat Ketangguhan Baja karbon Medium pada suhu 780⁰ C. Bandar Lampung.

- Heri Setiawan (2013). Pengaruh Poses Heat Treatment pada Kekerasan Material Special K(100), kodus.
- Nugroho, A., 2008, "*Pengaruh Carburizing Arang kayu jati dan Arang Cangkang kelapa dengan Austempering pada Mild Steel (baja lunak) produk pengecoran terhadap sifat fisis dan mekanis*", Tugas Akhir S-1, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Rianggoro, D., 2002, "*Pengaruh Carburizing pada Mild Steel (Baja Lunak) Produk Pengecoran Menggunakan Arang Kayu Jati dengan Waktu Tahan 3 Jam, 4 Jam, dan 7 Jam dengan Austempering Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis*", Tugas Akhir S-1, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Rofani, 2009, "*Pengaruh suhu carburizing menggunakan media arang batok kelapa terhadap kekerasan dan ketahanan aus gigi baja AISI 40*". Tugas Akhir S-1, Institut Teknologi Surabaya, Surabaya.
- Setyono Y, 2012, "sifat fisis dan mekanis baja karbonisasi arang kayu sengon" Tugas Akhir, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- S.K. Akay dkk, 2008. The Effect of Heat Treatment on Phisical Properties of Low Carbon Steel, Proceeding of Romanian Academy Series A, Vol 10
- Widiyanto, E., 2002, "*Penerapan Teknologi Tepat Guna Pelaratan dan Proses Pack Carburising Untuk Peningkatan Kualitas Produk Alat-alat Pertanian*", Tugas Akhir S-1, Teknik Mesin Institut Teknologi Surabaya, Surabaya.
- Yoshrizal H., 2005, "*Analisis pengerasan permukaan baja karbon rendah dengan metode Carburizing dengan waktu tahan 3 jam, 4 jam dan 5 jam*" Tugas Akhir, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.